LA SIMULACION EN LA GESTION DE TRANSITO: LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS

Juan Enrique Coeymans Avaria
Departamento de Ingeniería de Transporte
Pontificia Universidad Católica de Chile

Los últimos años han visto la aparición de diversos modelos de simulación de tráfico, desarrollados a fin de ayudar tanto al rediseño vial como a la gestión de tránsito. Su aplicación está cambiando radicalmente el tratamiento intuitivo y artesanal de los problemas de tráfico.

Este trabajo junto con resumir los principales modelos disponibles y discutir las limitaciones más importantes que presentan, describe el empleo que se ha hecho de ellos hasta el momento en Chile, y plantea las líneas de desarrollo y perspectivas que presentan hacia el futuro.

LA SIMULACION EN LA GESTION DE TRANSITO: LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS

1. Introducción.

1.1 Antecedentes preliminares.

La gestión de tránsito ha visto incrementada su importancia en las últimas décadas como consecuencia, no sólo de las limitaciones económicas a que se han enfrentado los diferentes países - de ahí la preferencia por medidas y proyectos de baja inversión propios de la gestión de tránsito -, sino también por consideraciones ambientales y urbanísticas: no es posible destruir el patrimonio arquitectónico y urbano de las ciudades a fin de construir tréboles, autopistas y grandes enlaces.

El empleo de medidas, proyectos o esquemas de gestión de tránsito, tanto a nivel puntual como de áreas dentro de las ciudades, conlleva necesariamente beneficios y costos sociales, siendo entre otros, los costos de inversión, de magnitud muy pequeña. La aplicación intuitiva de medidas de gestión de tránsito, en forma casi artesanal, ha dado paso a formas más racionales y metódicas de abordar los problemas: entre éstas destaca el empleo creciente de modelos de simulación de las redes involucradas, a fin de cuantificar las principales externalidades producidas por diversas alternativas de gestión de tránsito.

1.2 Objetivos y alcances.

El presente trabajo tiene como objetivo centrar la atención en los modelos más empleados de simulación, y junto con describirlos, tratar de entregar las principales limitaciones que cada uno conlleva.

No se pretende en esta ocasión llegar a un análisis detallado de los diferentes modelos existentes, y tampoco abarcarlos a todos. Se circunscribe este ensayo a los modelos empleados hasta el momento en Chile, y a aquellos sobre los que se tiene más experiencia internacional al respecto.

Finalmente, este ensayo tiene también como objetivo discutir las posibles líneas de desarrollo, a fin de que se constituyan en herramientas más afinadas y de más fácil acceso a las personas interesadas en emplearlas.

1.3 Contenido.

El trabajo está dividido en seis grandes puntos incluyendo la introducción.

Una descripción de lo que se entiende por Gestión de Tránsito se incluye en el punto 2. Un resumen de los principales modelos corresponde al punto 3.

El punto 4 abarca las limitaciones más importantes de los modelos analizados.

El empleo que se ha hecho hasta el momento en Chile se describe en el punto 5, y finalmente las líneas de desarrollo y perspectivas se detallan en el punto 6.

2. La gestión de tránsito.

2.1 Definición.

Desde el acercamiento primitivo a la gestión de tránsito, "como sacar lo mejor de las calles existentes" |1|, o "como hacer un empleo eficiente y seguro de la red de vías" |2|, que conllevaban implícita la idea que la gestión de tránsito se circunscribe a medidas de maquillaje, puntuales y sin ninguna posibilidad de influenciar las decisiones de ruta y modo de los viajeros, se ha ido llegando a definiciones que abarcan un área más grande de problemas y destacan y realzan un rol para la gestión de tránsito, que no lo tenía en períodos anteriores.

A las definiciones de Coeymans |3| y Hohman |4| que recalcan una visión dinámica de la gestión de tránsito, implicando el empleo de todo tipo de medidas de ingeniería de tránsito a fin de optimizar los "desplazamientos" de las personas (no de los vehículos), y sujeta dicha optimización a restricciones económicas, ambientales y sociales, se han agregado las de "gestión integral de tránsito" |5| de la OECD, como el conjunto armónico de medidas de tránsito a fin de llegar a un compromiso entre los intereses contrapuestos entre vehículos privados, peatones, transporte público, medio ambiente y accesibilidad. Estas definiciones sacan a la gestión de tránsito de su marginalidad como herramienta, y la hacen cubrir áreas más amplias de problemas y redes máscomplejas. En esta última línea, Allsop |6|, genera el concepto de "Area-wide Traffic Management", o gestión de tránsito extensiva, es decir con infinidad de medidas sobre una red amplia, definiendo a lo anterior como: "aplicación integral de técnicas, no ya de ingeniería de tránsito, sino de gestión de tránsito y control de toda un área a fin de influenciar el movimiento a través de ella, el acceso a ella, y el medio ambiente dentro de ella".

El crecimiento del concepto de gestión, entendida como el em-

pleo de medidas sencillas de prohibiciones de giro aquí y allá, o permitir un cruce seguro de peatones en aquel otro lugar, hasta llegar hasta el reruteo extensivo del tráfico, junto con el crecimiento del espectro de medidas y esquemas de control de tránsito, no ha sido por casualidad, sino el natural subproducto de la parálisis experimentada en los últimos quince años por la construcción de autopistas y grandes intersecciones intensivas en capital. La recesión mundial, con la consecuente escasez de recursos económicos |7|, así como un resurgimiento del conservacionismo y la revalorización del patrimonio histórico arquitectónico de las ciudades, tratando de respetar y realzar el legado de las generaciones anteriores, están en la raíz de la disminución de la ingeniería civil tradicional y del bull-dozer como herramientas para enfrentar los problemas de congestión, accesibilidad y medio ambiente que el transporte presenta en los centros urbanos.

Podríamos decir resumiendo que la gestión de tránsito es en la actualidad, el conjunto de medidas permanentes o transitorias que se emplean con el objeto de lograr una optimización de los desplazamientos de las personas, ya sea como peatones o en diferentes vehículos, y que aplicadas sobre una red amplia y extensa, influencian las rutas y modos de los movimientos, tratando de respetar restricciones de calidad del ambiente, económicas y sociales.

2.2 Tipos de medidas de gestión de tránsito.

Entre las medidas típicas de gestión de tránsito que abarca la definición entregada, pueden citarse las siguientes, mencionadas por la OECD |5|, Allsop |6| y Coeymans |3|:

- Apertura o cierre de calles a parte o a todo el tráfico en una o en ambas direcciones.
- Mejoramientos en la alineación y ancho de las calles.
- Prohibición o provisión especial de giros en las intersecciones.
- Elección del tipo de control (semáforo, prioritario, a diferentes niveles) y layout de las intersecciones.
- Optimización y coordinación de semáforos.
- Señalización y demarcación, incluyendo la señalización variable.
- Prioridad para algunos medios específicos, especialmente para buses.
- Facilidades para el cruce de peatones (pelícanos, zebras).
- Suministro y control de estacionamientos, facilidades de carga y descarga.
- Fomento del empleo de la bicibleta a través de pistas exclusivas, nuevo layout de vías y facilidades de estacionamiento.
- Incentivos a medios más eficientes en el uso del espacio vial (car-pooling, taxis colectivos, motos, bicicletas) permitiendo un acceso a espacios prohibidos o el uso de pistas exclusivas para ellos.
- Reruteo del transporte público y de los vehículos pesados.
- Apertura de pequeños tramos nuevos de calles y/o puentes a fin de aumentar la conectividad de la red de vías.

- Facilitar la accesibilidad de todos los medios a los puntos de trasbordo (estaciones, terminales de buses, terminales de carga).
- Cobrar peaje a algunos tipos de vehículos por el uso de determinadas vías.
- Reducir el ruido y la intrusión de tráfico.
- Reducir los riesgos de accidentes.
- Influenciar la localización de actividades que son especialmente dependientes de cierto tipo de accesos.

Sin embargo, cualquiera sean las técnicas y los objetivos, la forma como la gestión de tránsito constribuye al logro de los objetivos es influyente en las elecciones de las personas sobre:

- qué viajes o qué transporte de mercaderías hacer;
- a qué destinos;
- a qué hora del día o en qué día de la semana;
- en qué medio;
- por cuál ruta.

3. Principales Modelos.

3.1 Preliminares.

El comportamiento que muestra el tráfico en una red urbana es el resultado de la interacción entre los deseos de las personas por desplazarse o mover bienes por un lado, y el sistema vial por otro lado, incluyendo la manera en que éste es controlado o gestionado. La gestión de tráfico, aplicada sobre un área, afectará el comportamiento del tráfico, porque no son fijos ni los viajes o movimientos que se hacen, ni los medios en los que se realizan, ni las rutas que se toman. El volúmen vehicular o peatonal que hay en un punto del sistema vial, desde donde vienen esos flujos y hacia donde van, depende de las personas que escogen hacer desplazamientos que pasan por ese punto.

La gestión de tránsito lo que quiere es mejorar la situación existente en el área de estudio. A fin de cuantificar hasta qué punto un esquema o proyecto de gestión de tránsito produce o lleva a un mejoramiento de la situación existente, es conveniente poder estimar la mayor cantidad posible de efectos producidos por él.

Según Allsop |8|, el papel de los modelos de simulación en la gestión de tránsito, es suministrar estimaciones de efectos cuantificables de los proyectos, en términos de información sobre el esquema mismo, de conocimiento acerca de la operación de diferentes componentes (intersecciones, pistas exclusivas de buses, cruces peatonales) y de hipótesis sobre como se comportan los viajeros al escoger sus rutas o desplazamientos.

Los modelos disponibles pueden ayudar de diferentes formas en el proceso de generar soluciones - tarea en ningún caso sencilla cuando se trata de todo un área - y en optimizar aspectos del deseño

de los esquemas una vez que éstos se han esbozado, pero lo que ningún modelo puede hacer, es tomar la decisión final acerca de la implementación de un proyecto: lo más que pueden entregar es mayor información al que toma las decisiones que la que hubiera obtenido de otra manera.

Sin embargo, la modelación en la gestión de tráfico es útil detodas maneras por varias razones: en primer lugar, excepto en redes muy pequeñas, el rango de esquemas posibles y las interacciones entre los diferentes componentes de un proyecto son tales, que llegar a una buena solución por intentos y errores en el terreno, es muy caro y poco probable que sea satisfactorio. En segundo lugar, aún para redes bastante grandes (centro de una metrópoli por ejemplo) es posible conseguir un conocimiento más hondo sobre la operación de los componentes de la red a pesar de las limitaciones que presentan, que el que ofrecería un conocimiento puramente intuitivo.

3.2 La modelación.

Aunque los diferentes modelos tienen ciertas particularidades que los diferencian entre si, en general, dependiendo del grado de detalle al que se quiera llegar, están basados en una modelación de la red que incluye los siguientes elementos:

- las intersecciones como nodos,
- nodos ficticios para los puntos de encuentro o emergencia de flujos que giran,
- los enlaces son los "movimientos", entendiendo por tal cada cola independiente de vehículos que se forma delante de una línea de parada en un cruce,
- si los volúmenes de algún tipo de vehículos (buses por ejemplo) son particularmente grandes, y tienden a concentrarse en una o varias pistas, ésta o éstas se representan por un enlace propio, a fin de modelar independientemente el comportamiento sobre las vías de ellos,
- las prohibiciones de giro se representan por enlaces que no convergen,
- los cruces semaforizados se incluyen en forma detallada, considerando el o los ciclos, las fases, los verdes efectivos, los tiempos perdidos para cada fase, y en algunos casos la ponderación de las demoras para privilegiar algunos flujos vehiculares.

Junto a los detalles de la red se incluyen los datos de flujos y capacidad por movimiento y algunos indicadores de performances que van asociados a los enlaces y/o nodos. Los cambios que introduce la gestión de tránsito se representan ya sea por cambios en la estructura de la red (más o menos nodos y/o enlaces) que representan el sistema vial, o por cambios en las cantidades asociadas con los nodos y arcos.

3.3 Principales Modelos.

Existe una variedad grande de modelos. Los que se presentan a continuación son aquellos que han tenido una validación mayor, que han sido divulgados más ampliamente, y que cuentan con documentación al alcance de usuarios chilenos.

Por razones de conveniencia, los modelos que se listan, pueden agruparse en tres categorías según las técnicas que han empleado para la modelación. Estos grupos son:

- Grupo que se basa en simulación microscópica:en que el desplazamiento de cada vehículo es seguido a través de la red en estudio. Es posible simular detalladamente la interacción vehículo/vía, pero a costa de recursos computacionales significativos. NETSIM y TRAFFICQ pertenecen a este grupo.

- Grupo que emplea simulación macroscópica: los vehículos son simulados en pelotones o frentes. TRANSYT/8 y SATURN pertenecen a este grupo, aunque TRANSYT es el pionero en este tipo de modelación.

- Grupo de modelos que emplean modelación analítica: los vehículos se asignan en la red de acuerdo a condiciones de tráfico expresadas en funciones del tipo flujo-demora o funciones de demora en los enlaces. CONTRAM, LATM y MICROASSIGNMENT pertenecen a este grupo. Algunos autores prefieren no denominar modelosde simulación a los de esta categoría (9) y restringirlo sólo a los dos grupos anteriores.

A continuación se describen los modelos en forma resumida:

a) CONTRAM, desarrollado por Leonard, Tough y Baguley |10 y 11| en Inglaterra, cuyas principales aplicaciones están en la simulación de redes con semáforos de tiempo fijo, rotondas, e intersecciones prioritarias, así como en elección de ruta y optimización de semáforos. Permite simular estrategias de desvío, cambiando la capacidad de algunos arcos y pasando "mensajes" a los pelotones o frentes de vehículos. Toma en consideración tres tipos de vehículos: autos, buses y camiones. Realiza reasignación de flujos.

b) LATM, desarrollado por Taylor en Australia |12|, también capaz de simular redes con intersecciones prioritarias, rotondas y semáforos de tiempo fijo. Distingue solamente entre autos y vehículos pesados. Permite así mismo la modelación de los desvíos y emergencias en autopistas, y simula la reasignación de flujos.

c) MICRO-ASSIGNMENT, diseñado por Brown y Scott en USA |13|, que sólo trabaja con autos privados, y que permite modelar semáforos de tiempo fijo e intersecciones prioritariasen las redes. Cuenta con logaritmo de asignación.

d) SATURN, elaborado por Dirk Van Vliet con la cooperación de

Bolland, Willumsen, Ferreira y Hall, en Inglaterra |14, 15, 16| distingue entre autos y buses. Simula redes grandes y bastante complejas, incluyendo semáforos de tiempo fijo, rotondas e intersecciones prioritarias. Cuenta con un submodelo interno para generar matrices de origen-destino (entradas y salidas de la red) desarrollado por Willumsen |17|, así como con un submodelo de asignación para reasignar flujos, haciendo escoger a los vehículos la mejor ruta.

e) NETSIM, elaborado en USA por Lieberman |18|, que simula redes con intersecciones prioritarias, cruces semaforizados (de tiempo fijo y activados por vehículos) pero no trae submodelo de asignación. Distingue entre autos, buses, camiones y opcionalmente peatones.

f) TRAFFICQ, desarrollado por Miles Logie en Inglaterra |19, 20,21|, capaz de simular redes con intersecciones prioritarias, semáforos de tiempo fijo y activados por vehículos, así como rotondas. No trae modelo de asignación incorporado, y las matrices de origen-destino hay que entregárselas como dato. Distingue al igual que NETSIM, entre autos, buses, camiones y opcionalmente peatones.

g) TRANSYT/8, diseñado y perfeccionado por Denis Robertson en Inglaterra con la colaboración principalmente de Hunt, Vincent y Mitchell |22,23,24,25| y cuyo objetivo principal es la optimización de una red de semáforos de tiempo fijo, para lo cual emplea un modelo de simulación del comportamiento de los vehículos en pelotones, análogamente a como lo hace SATURN, que por lo demás se basó en el modelo de TRANSYT para estos efectos. Distingue entre autos y buses, y trae incorporado también la posibilidad de simular no sólo los cruces semaforizados, sino también las intersecciones prioritarias.

4. Limitaciones más importantes.

De los modelos presentados en el punto anterior, los cuatro primeros tienen la posibilidad de estudiar el reruteo de vehículos en una red, dada una matriz de origen-destino. Permiten por lo tanto estudiar el efecto de desvío vehicular que podría producir algún esquema de gestión de tránsito. Los tres últimos, no tiene modelo de asignación incorporado, por lo que son útiles para aquellos casos en que el reruteo de vehículos puede ignorarse.

SATURN, NETSIM y TRAFFICQ, son los que presentan un nivel de detalle mayor para la simulación, quedando en un nivel inmediatamente inferior TRANSYT/8 y CATM.

Todos los modelos tienen submodelos de simulación ya sea analíticos o macroscópicos, pero ninguno entrega tanto detalle a nivel microscópico como NETSIM y TRAFFICQ.

En el submodelo de asignación, sólo SATURN presentaría una con-

convergencia y optimalidad aseguradas |9|. CONTRAM, LATM y MICRO-ASSIGNMENT presentarían una convergencia observada |9|.

La mayoría de los modelos han sido validados sólo en redes reales pequeñas, y va a tomar un tiempo hasta ser aceptados universalmente como herramientas para la gestión de tráfico.

Todos sin embargo, presentan el problema, al tratarse con redes semaforizadas, que no se tiene en absoluto seguridad de que al optimizar la red de semáforos se produzca una reasiganción de flujos y que ésta a su vez requiera otra optimización, y el proceso converja. Lo que se ha hecho hasta el momento es simplemente mantener constante los repartos y desfases durante la asignación.

Respecto a las características computacionales, todos están escritos en FORTAN IV y algunos en Assembler o CSL (Control and Simulation Language). El consumo de CPU es alto en TRAFFICQ, mediano en SATURN y relativamente bajo en los demás modelos (TRANSYT/8 solo simulando) |9|

En cuanto a la documentación, TRANSYT/8, TRAFFICQ y NETSIM tienen manual del usuario claro y facil de usar y material publicado suficiente. SATURN tiene documentación suficiente y clara, y un manual del usuario regularmente claro, comparable a LATM. Sin embargo CONTRAM y MICROASSIGNMENT tienen muy poca documentación.

5. Empleo hecho en Chile.

Hasta la fecha de entrega del presente trabajo, en Chile se han utilizado los siguientes modelos:

5.1 TRANSYT/8

Ha sido empleado sólo con fines académicos por parte del Departamento de Ingeniería de Transporte de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y del Departamento de Ingeniería Civil, Sección Transporte, de la Universidad de Chile.

La versión 7 de TRANSYT se usó para el estudio de coordinación de semáforos del Centro de Santiago, para los proyectos de coordinación de semáforos en las Avdas. Vicuña Mackenna e Independencia (por implementarse en terreno) y en la coordinación de la Avda. Costanera, proyecto este último que se termiará en las próximas semanas.

En los primeros estudios de evaluación y diseño de obras de vialidad urbana, a partir de 1981, fue utilizado el TRANSYT en la simulación de las alternativas, y también se le ha empleado en la determinación de alternativas base para estudios de vialidad en el Gran Valparaíso, Chillán y Temuco.

La cantidad de personas que ha trabajado en él, así como la enorme cantidad de alumnos de Ingeniería capacitados en su manejo, lo hacen en este momento el más popular de todos los modelos en Chile.

5.2 TRAFFICQ.

Fue utilizado con bastante éxito por primera vez en 1983 por la empresa TRANSIN LTDA. para la determinación de beneficios en el estudio de rediseño de perfiles y de algunos intersecciones sobre Vicuña Mackenna e Independencia.

Durante 1983 se le utilizó así mismo, por la misma empresa, para evaluar el nuevo diseño de la superficie de la Plaza Baquedano, y en el cruce de Vicuña Mackenna con Avda. Departamental. Se espera emplearlo en 1984 para el rediseño y evaluación de tres nuevas intersecciones en la Panamericana Norte.

Por el momento su divulgación en Chile ha sido restringido. En el caso de los ejes Independencia y Vicuña Mackenna se le empleó acoplado con el modelo ME2 desarrollado por Willumsen |26| y que forma parte de SATURN como submodelo. Este uso, en conjunto, a fin de generar la matriz de origen-destino, fue pionero a nivel mundial al respecto, y en la actualidad se trabaja en una versión que incorporaría el empleo de ME2 aparte de tener una entrada de datos más sencilla y de facil acceso para cualquier usuario.

5.3 SATURN.

Los grupos de transporte de la Pontificia Universidad Católica de Chile y de la Universidad de Chile lo han usado con fines académicos y para proyectos de investigación.

En 1983 la empresa consultora TRANSIN empleó SATURN para el estudio de los by-passes de Temuco y Chillán, y la empresa CADE-IDEPE lo usó para un estudio de inversiones en vialidad urbana de Punta Arenas. En la actualidad, tanto para el análisis y evaluación del desarrollo vial del antiguo sitio de la CCU en Providencia en Santiago, como para la evaluación de diferentes alternativas de gestión de tráfico en el centro de Santiago, se pretende usar SATURN con todos sus submodelos, lo que hasta la fecha no había sido realizado en el país.

Este modelo puede decirse que está comenzando a entrar como herramienta de gestión de tránsito en el país,y dado el enorme potencial que presenta es probable que al igual que TRANSYT alcance una gran popularidad.

6. Líneas de desarrollo y perspectivas.

La utilidad de un modelo depende mucho del tipo de red a es-

tudiar y del o de los problemas a considerar. Cada uno de los modelos explicados tiene sus ventajas en su área, pero también limitaciones. Para un conocimiento más detallado de estas últimas, puede referirse a las descripciones de Akcelik y otros |9|y Allsop |6, 7 y 8|.

Una cosa sin embargo es clara: no existe hasta el momento un modelo que pueda simular todas las posibles medidas que emplea la gestión de tráfico; no hay un modelo completo.

Los modelos macroscópicos que tienen algoritmos de asignación, permiten estudiar los efectos de reruteo de medidas de gestión de tráfico, pero no pueden llegar al detalle de simular el comportamiento de los vehículos en términos de cambio de pistas, bloqueo de pistas (problemas de paraderos de locomoción colectiva por ejemplo) o aceleraciones y desaceleraciones.

Por otra parte, los modelos microscópicos, sin la posibilidad de reasignar quedan limitados para su empleo como herramienta de gestión de tráfico.

Hacia adelante hay bastantes líneas de investigación a fin de mejorar los modelos existentes o crear síntesis nuevas que los superen. Así, los mejoramientos que podrían introducirse dentro de los actuales alcances de los modelos podrían resumirse como sigue:

- Agrandar y mejorar las evidencias empíricas acerca de las medidas de gestión de tráfico sobre la elección de ruta, para afinar la construcción de modelos teóricos.

- Desarrollar algoritmos para la asignación en redes donde los costos en algunos arcos dependen del flujo en otros.

- Profundizar la investigación sobre la unicidad y estabilidad del equilibrio en los modelos de asignación.

- Diseñar algoritmos para optimización combinada de parámetros y asignación.

- Modelación más detallada del efecto de la locomoción colectiva masiva propia de países en desarrollo sobre el comportamiento en los enlaces con paraderos.

- Mejorar la entrada de datos, ya que en general los modelos y paquetes computacionales fueron diseñados pensando en un empleo restringido a especialistas, y pecan de crípticos muchas veces.

En lo que respecta al crecimiento de los actuales alcances de los modelos, es interesante anotar:

- Incluir la modelación de elección de estacionamiento y de paradero de locomoción colectiva, y las etapas peatonales asociadas a los viajes comenzados y terminados en la área modelada.

- Modelar los movimientos y la interacción peatonal con el flujo vehicular.

- Modelación de la ocurrencia de accidentes en términos de detalles del sistema vial y de la forma del tráfico.

- Modelación en términos de incluir más efectos que las demoras y consumos de combustible, tales como externalidades ambientales y ahorros en accidentes.

Todas las limitaciones que presentan los actuales modelos, y el amplio campo que hay hacia adelante, no impide sin embargo considerar que la década del 80 y las décadas futuras, tendrán más posibilidades de estimar los reales efectos que la gestión de tránsito, entendida como se definió en este trabajo, produce sobre el sistema vial, los usuarios y el medio ambiente. Esta mejor comprensión indudablemente producirá por una parte conjuntos más amplios, creativos y grandes de soluciones, al mismo tiempo que decisiones basadas menos en la intuición y más en indicadores reales y racionales.

Referencias.

1. D.O.E. (1967) Better Use of Town Roads, H.M.S.O., London.

2. DUFF, S.T. (1968) Traffic Management. Traffic Engineering Practice, E. and F.N. Spon Ltd., London.

3. COEYMANS, J.E. (1976) Traffic Management, Definition,Description and Relevance to Chile. M.Sc. Dissertation, Department of Civil Engineering, Southampton University.

4. SECTU (1982), El Proceso de Gestión de Tránsito. Secretaría Ejecutiva, Comisión de Transporte Urbano (versión preliminar)

5. OECD (1978), Integrated Urban Traffic Management. OECD Publications, Paris.

6. ALLSOP, R. (1983) Network Models in Traffic Management and Control. Transport Reviews, Vol. 3, N°2, 157-182.

7. ALLSOP, R. (1980) Transport studies and the quality of life Environmental and Planning A, Vol.12, 339-356.

8. ALLSOP, R. (1982) Introduction to Modelling the effects of area-wide traffic management. PTRC Course Notes, November 1982, London.

9. LUK, J.Y.R., AKCELIK, R., BOWYER, D.P. y BRINDLE, R.E (1983) Appraisal of eight small area traffic management models. Journal of the Australian Road Research Board, Vol.13, N°1, 25-34.

10. LEONARD, D.R. y TOUGH, J.B. (1979). Validation work on CONTRAM - a model for use in the design of traffic management schemes. Proc. PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, Vol. P180, 135-153.

11. LEONARD, D.R. y BAGULEY, P.C. (1978). CONTRAM: a traffic assignment model for predicting flows and queues during peak periods. TRRL Laboratory Report, LR841, Crowthorne.

12. TAYLOR, M.A.D. (1979) Evaluating the Performance of a Simulation Model. Transportation Research, Vol.13 A(3), 159-173.

13. BROWN, G.B.H. y SCOTT, R.S. (1970) Micro-Assignment: a New Tool for Small Area Planning. Highway Research Record 322, 149-161.

14. BOLLAND, J.D., HALL, M.D. y VAN VLIET, D. (1979). SATURN - a model for the evaluation of traffic management schemes. Working Paper 106, Institute for Transport Studies, Leeds University.

15. BOLLAND, J.D., HALL, M.D., VAN VLIET, D. y WILLUMSEN, L.G. (1977), A model for the simulation of traffic management schemes. Proc. PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, Vol. P152, 76-83.

16. BOLLAND, J.D., HALL, M.D., VAN VLIET, D. y WILLUMSEN, L.G. (1979), SATURN: Simulation and assignment of traffic in urbanroad networks. Proc. of the International Symposium on Traffic Control Systems, Vol. 2D, 99-115.

17. WILLUMSEN, L.G. (1978) Estimation of an O-D matrix from traffic counts: a review. Working Paper 99, Institute of Transport Studies, Leeds University.

18. LIEBERMAN, E. (1981) Enhanced NETSIM program. Special Report 194. Transportation Research Board, 32-35.

19. LOGIE, D.M.W. (1979) TRAFFICQ: a comprehensive model for traffic management schemes. Traffic Engineering and Control, Vol. 20 (1), 516-518.

20. LOGIE, D.M.W., (1977) Computer-aided design and evaluation of traffic management schemes: Programs LP-Plan and TRAFFICQ. Traffic Engineering and Control, Vol. 18 (7/8),

21. LOGIE, D.M.W. y DAWSON, J.A.L. (1980) TRAFFICQ -User's Manual, Traffic Advisory Unit, Department of Transport, London.

22. ROBERTSON, D.I., (1969) TRANSYT: a traffic network study tool. TRRL Laboratory Report LR 253, Crowthorne.

23. ROBERTSON, D.I., y VINCENT, R.A. (1975) Bus priority in a network of fixed-time signals. TRRL Laboratory Report LR666, Crowthorne.

24. HUNT, P.B. y KENNEDY, J.V. (1980). A guide to TRANSYT/7. TRRL Supplementary Report SR595, Crowthorne.

25. VINCENT, R.A., MITCHELL, A.I. y ROBERTSON, D.I. (1980) User's guide to TRANSYT/8. TRRL, Laboratory Report LR888, Crowthorne.

26. WILLUMSEN, L.G. (1982) Estimation of trip matrices from volume counts: Validation of a model under congested conditions. 10th. PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, 12-15 July, 1982.